

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



REC'D 16 SEP 2003

WIPO PCT

PCT/DE03/2272

## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 102 36 603.9

Anmeldetag: 9. August 2002

Anmelder/Inhaber: Siemens Aktiengesellschaft, München/DE

Bezeichnung: Verfahren zur Übertragung von mindestens einem ersten und zweiten Datensignal im Polarisationsmultiplex in einem optischen Übertragungssystem

IPC: H 04 J, M 04 B

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 23. Juli 2003  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

CERTIFIED COPY OF  
PRIORITY DOCUMENT

**PRIORITY  
DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



## Beschreibung

Verfahren zur Übertragung von mindestens einem ersten und  
5 zweiten Datensignal im Polarisationsmultiplex in einem opti-  
schen Übertragungssystem

Bei optischen Übertragungssystemen wird eine Erweiterung der  
Übertragungskapazität von bereits bestehenden optischen Über-  
10 tragungssystemen dadurch ermöglicht, daß die optischen Daten-  
signale im Polarisationsmultiplex übertragen werden. Zur  
Übertragung von optischen Datensignalen im Polarisationsmul-  
tiplex werden jeweils zwei Trägersignale in mindestens einer  
Sendeanordnung mit derselben Wellenlänge erzeugt, die jeweils  
15 mit einem Datensignal moduliert werden. Das erste und zweite  
modulierte Signal weisen hierbei eine zueinander orthogonale  
Polarisation auf. Die zueinander orthogonal polarisierten mo-  
dulierten Signale werden zu einem optischen Polaristionsmul-  
tiplexsignal zusammengefasst. Das optische Polaristionsmul-  
20 tiplexsignal wird in die optische Übertragungsfaser eingekop-  
pelt und über die optische Übertragungsstrecke zu einer Emp-  
fangseinheit übertragen. Empfangsseitig werden die beiden or-  
thogonal polarisierten modulierten Signale wellenlängenabhän-  
gig und polarisationsabhängig aus dem Polarisationsmultiplex-  
signal rückgewonnen.

Die Rückgewinnung der beiden orthogonal polarisierten modu-  
lierten Signale aus dem Polaristionsmultiplexsignal stellt  
hierbei eines der Probleme bei der Übertragung von optischen  
30 Datensignalen im Polarisationsmultiplex dar. Hierzu ist es  
erforderlich aus dem übertragenen optischen Polaristionsmul-  
tiplexsignal ein Regelkriterium zur Regelung eines empfangs-  
seitig angeordneten Polarisationsstellgliedes zu ermitteln.  
Mit Hilfe des anhand des geeigneten Regelkriteriums geregel-  
35 ten Polarisationsstellgliedes und beispielsweise eines nach-  
folgenden Polarisationssplitters oder eines Polarisationsfil-

ters werden die zueinander orthogonal polarisiert übertragenen modulierten Signale getrennt.

Für die Regelung der empfangsseitigen Trennung der beiden orthogonal polarisierten Signale sind unterschiedliche Regelkriterien bekannt. Aus der Veröffentlichung „Optical polarization division multiplexing at 4GB/S“, von Paul M. Hill et al., IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 4, No. 5, Mai 1992 ist die Verwendung von kohärenten Techniken in Kombination mit Pilottonen zur Rekonstruktion bzw. Trennung der polarisationsgemultiplexten optischen Signale bekannt. Ferner ist aus der Veröffentlichung „Fast Automatic Polarization Control System“, Heismann and Whalen, IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 4, No. 5, Mai 1992 eine Trennung der polarisationsgemultiplexten optischen Datensignale anhand eines aus dem wiedergewonnenen Takt sowie den empfangenen optischen Signalen erzeugten Korrelationssignals bekannt. Zusätzlich ist aus der deutschen Patentanmeldung 10147892.5 ein Frequenzversatzverfahren zur empfangsseitigen Trennung von polarisationsgemultiplexten optischen Datensignalen bekannt, bei dem sendeseitig zur Übertragung der beiden Datensignale zwei eine Differenzfrequenz aufweisende Trägersignale verwendet werden und zur empfangsseitigen Trennung der beiden Datensignale das Spektrum der übertragenen Datensignale bei der Differenzfrequenz zur Regelung eines Polarisationsstellgliedes ausgewertet wird.

Darüber hinaus ist aus der Veröffentlichung von Mike Sieben, et al., „Optical Single Sideband Transmission at 10 Gb/s Using Only Electrical Dispersion Compensation“, Journal of Lightwave Technology, Vol. 17, No. 10, October 1999 ein Verfahren zur „Einseitenband“-Übertragung von optischen Signalen bekannt, bei dem sendeseitig mit Hilfe mindestens eines Mach-Zehnder-Modulators aus einem digitalen Basisbandsignal unter Verwendung einer Hilbert-Transformation ein optisches Einseitenbandsignal erzeugt wird. Durch die Übertragung in nur einem Seitenband wird der nichtlineare Effekt der chromatischen

Faserdispersion reduziert sowie die optische Übertragungsbandbreite erhöht.

Die Aufgabe der Erfindung ist darin zu sehen, ein neuartiges  
5 Verfahren für die Übertragung von hochbitratigen optischen  
Signalen im Polarisationsmultiplex mit erhöhter Übertragungs-  
bandbreite anzugeben.

Die Aufgabe wird ausgehend von einem Verfahren gemäß Patent-  
10 anspruch 1 gelöst.

Der wesentliche Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens ist  
darin zu sehen, daß zur Übertragung von mindestens einem ers-  
ten und zweiten Datensignal im Polarisationsmultiplex in ei-  
15 nem optischen Übertragungssystem in einem ersten Schritt sen-  
deseitig das erste Datensignal auf ein Seitenband eines ers-  
ten Trägersignals zur Erzeugung eines ersten seitenbandmodu-  
liertes Signal und das zweite Datensignal auf ein Seitenband  
eines zweiten Trägersignals zur Erzeugung eines zweiten sei-  
20 tenbandmodulierte Signals moduliert wird. In einem zweiten  
Schritt werden das erste und zweite seitenbandmodulierte Sig-  
nal zueinander orthogonal polarisiert sowie zu einem opti-  
schen Multiplexsignal zusammengefasst und übertragen. In ei-  
nem dritten Schritt wird empfangsseitig das optische Multi-  
plexsignal über ein Polarisationsstellglied an einen Polarisa-  
tionssplitter geführt, der das übertragene optische Multi-  
plexsignal in das erste und zweite modulierte Signal auf-  
trennt. Ferner werden in einem vierten Schritt das erste sei-  
tenbandmodulierte Signal in ein erstes elektrisches Signal  
30 und/oder das zweite seitenbandmodulierte Signal in ein zwei-  
tes elektrisches Signal umgesetzt und in einem fünften  
Schritt das erste und/oder das zweite elektrische Signal be-  
wertet sowie abhängig davon mindestens ein Regelsignal zur  
Regelung des Polarisationsstellgliedes abgeleitet. Vorteil-  
35 haft wird durch das erfindungsgemäße Verfahren die Übertra-  
gung von Datensignalen mit einer hohen spektralen Effizienz  
möglich. Durch die erfindungsgemäße Kombination der Einsei-

tenband- bzw. Restseitenbandmodulation sowie der optischen Polarisationsmultiplextechnik ergeben sich vorteilhaft erhöhte Toleranzbereiche für das optische Übertragungssystem gegenüber von nichtlinearen Effekten beispielsweise der chromatischen Faserdispersion.

Vorteilhaft werden zur Übertragung der beiden optischen Datensignale zwei sich um eine Differenzfrequenz unterscheidenden Trägersignale verwendet. Sendeseitig wird zur Bewertung des ersten und/oder des zweiten elektrischen Signals der spektrale Anteil des ersten und/oder des zweiten elektrischen Signals bei der Differenzfrequenz ermittelt. Zur exakten empfangsseitigen Trennung des ersten und zweiten, im Polarisationsmultiplex übertragenen Seitenbandmodulierten Signals wird 15 zumindest ein empfangsseitig angeordnetes Polarisationsstellsglied geregelt, wobei die quadrierende Eigenschaft eines opto-elektrischen Wandlers, beispielsweise einer Photodiode, hierbei zur Gewinnung eines Regelkriteriums ausgenutzt wird. Aufgrund dieser quadrierenden Eigenschaften entstehen im elektrischen Spektrum des am Ausgang des opto-elektrischen Wandlers abgegebenen elektrischen Signals bei der Differenzfrequenz unerwünschte spektrale Anteile, sofern die mit Hilfe 20 des Polarisationssplitters durchgeföhrte Trennung der beiden im Polarisationsmultiplex übertragenen Seitenbandmodulierten Signale nicht exakt ist. Diese bei der Differenzfrequenz liegenden spektralen Anteile entstehen sowohl im ersten als auch im zweiten elektrischen Signal. Die Amplitude dieser spektralen Anteile wird zur Bildung zumindest eines Regelsignals für die Steuerung des Polarisationsstells gliedes ausgewertet. 25 Hierbei wird das Polarisationsstells glied beispielsweise mit Hilfe des mindestens einen Regelsignals derart gesteuert, daß der bei der Differenzfrequenz entstehende spektrale Anteil minimal wird. Mit Hilfe eines derartigen scharfen Regelkriteriums wird eine möglichst exakte empfangsseitige Trennung der 30 beiden im Polarisationsmultiplex übertragenen Seitenbandmodulierten Signale möglich.

Vorteilhaft wird das erste oder zweite seitenbandmodulierte Signal sendeseitig verzögert, wodurch eine effektive Dekorrelation des ersten und zweiten seitenbandmodulierten Signals erreicht wird. Hierdurch wird die Schärfe des Regelkriteriums 5 zusätzlich erhöht.

Ein weiterer Vorteil der Erfindung ist darin zu sehen, daß zur Unterscheidung des ersten und zweiten elektrischen Signals sendeseitig dem ersten und/oder dem zweiten Trägersignal 10 mindestens ein Pilottonsignal überlagert wird. Vorteilhaft wird alternativ dem ersten und/oder zweiten seitenbandmodulierten Signal ein Pilotton mit einer festgelegten Frequenz überlagert, anhand dessen nach der sendeseitigen Trennung des ersten und zweiten seitenbandmodulierten Signals mit Hilfe 15 des Polarisationssplitters und der Umsetzung in ein erstes und zweites elektrisches Signal eine eindeutige Identifizierung des ersten und zweiten elektrischen Signal als solche möglich wird. Alternativ können zur Unterscheidung des ersten und zweiten elektrischen Signals das erste und das zweite Datensignal mit unterschiedlichen Übertragungsbitraten oder Datenformaten übertragen werden. In einer weiteren alternativen Ausführungsform weisen das erste und zweite Datensignal unterschiedliche Übertragungsbitraten auf und somit kann empfangsseitig das jeweilige elektrische Signal vorteilhaft anhand der zugeordneten Übertragungsbitrate identifiziert. 20

Zusätzliche vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäß 25 Verfahrens sind den weiteren Ansprüchen zu entnehmen.

30 Ausführungsbeispiele des erfindungsgemäß Verfahrens sowie des erfindungsgemäß optischen Übertragungssystem sind im folgenden anhand eines Prinzipschaltbildes und mehreren Diagrammen näher erläutert.

35 Figur 1 zeigt beispielhaft ein optisches Übertragungssystem zur Übertragung mindestens eines ersten

und zweiten, auf ein Seitenband von Trägersignalen moduliertes Datensignal im Polarisationsmultiplex,

Figuren 2a-d zeigen beispielhaft die Leistungsspektren der ersten und zweiten Seitenbandmodulierten Signale, und

Figur 3 zeigt den Amplitudenverlauf des ermittelten spektralen Anteils bei der Differenzfrequenz in Abhängigkeit des Polarisationswinkels.

10

In Figur 1 ist beispielhaft ein optisches Übertragungssystem OTS schematisch dargestellt, das eine Sendeanordnung SA sowie eine über eine optische Übertragungsfaser OF angeschlossene Empfangsanordnung EA aufweist. In der Sendeanordnung SA sind beispielhaft eine erste und zweite Dateneinheit D1, D2, eine optische Signalerzeugungseinheit OSU, eine optische Splittereinheit SU, eine erste und zweite Modulatoreneinheit MU1, MU2, eine erste und zweite optische Seitenbandfiltereinheit OSBF1, OSBF2, ein Polarisationskontroller PC sowie ein Polarisationsmultiplexer PM vorgesehen. Die Empfangsanordnung EA umfaßt ein Polarisationsstellglied PTF, einen Polarisationsplitter PBS, einen ersten und zweiten opto-elektrischen Wandler RX1, RX2, eine erste und zweite Filtereinheit FU1, FU2 sowie eine Regeleinheit CU. Die Regeleinheit CU weist zusätzlich eine Meß- und Bewertungseinheit MBU auf.

Die erste Dateneinheit D1 der Sendeanordnung SA ist an die erste Modulatoreneinheit MU1 angeschlossen, die über die erste optische Seitenbandfiltereinheit OSBF1 und den Polarisationskontroller PC mit dem ersten Eingang i1 des Polarisationsmultiplexers PM verbunden ist. Die zweite Dateneinheit D2 ist mit der zweiten Modulatoreneinheit MU2 verbunden, die über die zweite optische Seitenbandfiltereinheit OSBF2 sowie optional über ein Verzögerungselement D an den zweiten Eingang e2 des Polarisationsmultiplexers PM angeschlossen ist. Die Optimalität des Verzögerungselementes D ist in Figur 1 durch eine strichliert gezeichnete Linie angedeutet. Darüber hinaus

sind optional eine erste und zweite elektrische Seitenbandfiltereinheit ESBF1,ESBF2 vorgesehen, die zwischen der ersten Dateneinheit D1 und dem ersten Multiplexer MU1 bzw. zwischen der zweiten Dateneinheit D2 und dem zweiten Multiplexer MU2 eingeschaltet sind. Wahlweise können zur Erzeugung der elektrischen bzw. optischen Seitenbandsignale entweder die erste und zweite elektrische Seitenbandfiltereinheit ESBF1,ESBF2 oder die erste und zweite optische Seitenbandfiltereinheit OSBF1,OSBF2 eingesetzt werden.

10

Die optische Signalerzeugungseinheit OSU ist über die optischen Splittereinheit SU, die beispielsweise ein Teilungsverhältnis von 1:2 aufweist, an die erste und zweite Modulatoreneinheit MU1,MU2 angeschlossen.

15

An den Ausgang e des Polarisationsmultiplexers PM ist die optischen Übertragungsfaser OF angeschlossen, deren Ausgang an den Eingang i des Polarisationstellgliedes PTF der Empfangsanordnung EA geführt ist. Hierbei kann die optische Übertragungsfaser OF mehrere - nicht in Figur 1 dargestellte - optische Übertragungsfaserabschnitte umfassen.

30

Der Ausgang e des Polarisationstellgliedes PTF ist an den Eingang i des Polarisationssplitters PBS angeschlossen. Dessen erster Ausgang e1 ist mit dem ersten opto-elektrischen Wandlers RX1 und dessen zweiter Ausgang mit dem zweiten opto-elektrischen Wandler RX2 verbunden. Der erste bzw. zweite opto-elektrische Wandler RX1, RX2 sind an die erste bzw. zweite Filtereinheit FU1, FU2 angeschlossen. Die erste Filtereinheit FU1, sowie die zweite Filtereinheit FU2 sind beispielsweise über eine erste bzw. eine zweite Regelleitung RL1, RL2 mit dem ersten bzw. zweiten Eingang i1, i2 der Regeleinheit CU verbunden, deren Ausgang e über eine Steuerleitung SL an den Regeleingang ri des Polarisationstellgliedes PTF angeschlossen ist. Zur Bewertung der empfangenen elektrischen Signale weist die Regeleinheit CU beispielsweise eine Meß- und Bewertungseinheit MBU auf.

In der optischen Signalerzeugungseinheit OSU wird ein optisches Signal os erzeugt, wobei das optische Signal als ein eine konstante Frequenz aufweisendes optisches „Weißlichtsignal“ oder ein optisches Pulssignal ausgestaltet ist. Das optische Signal os wird an die optische Splittereinheit SU übertragen und in ein erstes und zweites Trägersignal ts1,ts2 aufgeteilt. Hierbei weisen das erste und zweite Trägersignal ts1,ts2 dieselbe Frequenz  $f_1, f_2$  auf. Alternativ können zwei getrennte optische Signalerzeugungseinheiten OSU1,2 - in Figur 1 nicht dargestellt - vorgesehen wird, mit deren Hilfe ein erstes und zweites Trägersignal ts1,ts2 erzeugt werden, die eine um eine Differenzfrequenz  $\Delta f$  verschobene erste und zweite Frequenz  $f_1, f_2$  aufweisen. Das erste Trägersignal ts1 wird an die erste Modulatoreneinheit MU1 und das zweite Trägersignal ts2 an die zweite Modulatoreneinheit MU2 übertragen.

In der ersten Dateneinheit D1 wird ein erstes Datensignal ds1 in einem ersten Datenformat - beispielsweise im Return-to-Zero-Datenformat (RZ) - erzeugt, das von der ersten Dateneinheit D1 an die erste Modulatoreneinheit MU1 geführt wird. Durch die erste Modulatoreneinheit MU1 wird das erste Datensignal ds1 auf ein Seitenband des erstes Trägersignals ts1 moduliert und hierdurch ein erstes Seitenbandmoduliertes Signal ms1 erzeugt, das über die erste optische Seitenbandfiltereinheit OSBF1 und den Polarisationskontroller PC an den ersten Eingang i1 des Polarisationsmultiplexers PM gesteuert wird.

30

Analog hierzu wird in der zweiten Dateneinheit D2 ein zweites Datensignal ds2 ebenfalls im ersten Datenformat oder in einem zweiten Datenformat - beispielsweise den Non-Return-to-Zero-Datenformat (NRZ) - erzeugt und von der zweiten Dateneinheit D2 an die zweite Modulatoreneinheit MU2 übertragen. In der zweiten Modulatoreneinheit MU2 wird das zweite Datensignal ds2 auf ein Seitenband des zweiten Trägersignals ts2 modu-

liert und somit ein zweites Seitenbandmoduliertes Signal ms2 gebildet, das über die zweite optische Seitenbandfiltereinheit OSBF1 und optional über das Verzögerungselement D an den zweiten Eingang i2 des Polarisationsmultiplexers PM geführt  
5 wird.

Die Modulation des ersten und zweiten Trägersignals ts1,ts2 mit dem ersten bzw. zweiten Datensignal ds1,ds2 kann hierbei unter Verwendung einer Einseitenbandmodulation oder einer  
10 Restseitenbandmodulation erfolgen. Die Durchlaßcharakteristika der ersten und zweiten elektrischen Seitenbandfiltereinheit ESBF1,ESBF2 bzw. der ersten und zweiten optischen Seitenbandfiltereinheit OSBF1,OSBF2 sind an das jeweilige verwendete Seitenbandmodulationsverfahren angepaßt. Hierbei werden mit Hilfe der ersten und zweiten elektrischen Seitenbandfiltereinheit ESBF1,ESBF2 bzw. der ersten und zweiten optischen Seitenbandfiltereinheit OSBF1,OSBF2 das für die Übertragung des ersten bzw. zweiten Datensignals ds1,ds2 erforderliche Seitenband vor oder nach der Modulation ausgefiltert,, wobei die Seitenbandmodulation beispielsweise mit Hilfe eines Hilbert-Transformators realisiert ist - siehe hierzu die Veröffentlichung von Mike Sieben, et al., „Optical Single Sideband Transmission at 10 Gb/s Using Only Electrical Dispersion Compensation“, Journal of Lightwave Technology, Vol.  
15 17, No. 10, October 1999.

Bei der Erzeugung des ersten und zweiten Seitenbandmodulierten Signals ms1, ms2 wird deren Polarisation derart voreingestellt, daß sie zueinander orthogonal polarisiert sind und  
30 somit im Polarisationsmultiplex über die optische Übertragungsfaser OF zur Empfangsanordnung EA übertragen werden können. Zur Orthogonalisierung der Polarisation des ersten und zweiten modulierten Signals ms1, ms2 können beispielsweise empfangsseitig Polarisationskontroller PC vorgesehen sein.  
35 Werden das erste und zweite Trägersignal ts1,ts2 durch zwei getrennte optische Signalerzeugungseinheiten OSU erzeugt, so ist ein Polarisationskontroller PC nicht zwingend erforder-

lich, da mit Hilfe von modernen optischen Signalerzeugungseinheiten OSU bereits optische Signale mit einer vorgegebenen Polarisation erzeugt werden können.

- 5 Im Ausführungsbeispiel sorgt der Polarisationskontroller PC für ein orthogonales Polarisationsverhältnis zwischen dem ersten und zweiten Seitenbandmodulierten Signalen ms1, ms2, wobei alternativ oder zusätzlich eine Anordnung eines Polarisationskontroller PC zwischen der zweiten optischen Seiten-
- 10 bandfiltereinheit OSFB2 und dem Polarisationsmultiplexer erfolgen kann. Durch das Verzögerungselementes D wird optional das zweite Seitenbandmodulierte Signal ms2 verzögert, wodurch das erste und zweite Seitenbandmodulierte Signal ms1, ms2 sendeseitig dekorreliert werden können.

- 15 Das erste und zweite Seitenbandmodulierte Signal ms1, ms2 werden mit Hilfe des Polarisationsmultiplexers PM zu einem optischen Multiplexsignal oms zusammengefasst, das am Ausgang e des Polarisationsmultiplexers PM in die optische Übertragungsfaser OF eingespeist wird. Im Anschluß werden das erste und zweite Seitenbandmodulierte Signal ms1, ms2 in Form des optischen Multiplexsignals oms im Polarisationsmultiplex über die optische Übertragungsfaser OF übertragen.

- 25 In der Empfangsanordnung EA wird das optische Multiplexsignal oms an den Eingang i des Polarisationsstellgliedes PTF geführt, mit dessen Hilfe die Polarisation des übertragenen ersten und/oder zweiten Seitenbandmodulierten Signals ms1, ms2 innerhalb des optischen Multiplexsignals oms geregelt
- 30 werden kann. Nach der Einstellung der Polarisation des übertragenen ersten und/oder zweiten modulierten Signals ms1, ms2 innerhalb des optischen Multiplexsignals oms wird das optische Multiplexsignal oms an den Eingang i des Polarisations-splitters PBS geführt, der das optische Multiplexsignal oms
- 35 in das erste Seitenbandmodulierte Signal ms1\* und das zweite Seitenbandmodulierte Signal ms2\* aufspaltet. Die Genauigkeit der Aufspaltung des optischen Multiplexsignals oms in das

erste Seitenbandmodulierte und das zweite Seitenbandmodulierte Signal  $ms1^*$ ,  $ms2^*$  ist abhängig von der Orthogonalität der Polarisation der beiden Signale  $ms1^*$ ,  $ms2^*$ .

- 5 Das erste Seitenbandmodulierte Signal  $ms1^*$  wird am ersten Ausgang e1 des Polarisationssplitters PSB abgegeben und an den ersten opto-elektrischen Wandler RX1 gesteuert. Analog hierzu wird am zweiten Ausgang e2 des Polarisationssplitters PBS das zweite Seitenbandmodulierte Signal  $ms2^*$  abgegeben und  
10 an den zweiten opto-elektrischen Wandler RX2 übertragen.

- Das rückgewonnene erste und zweite Seitenbandmodulierte Signal  $ms1^*$ ,  $ms2^*$  werden durch den ersten bzw. zweiten opto-elektrischen Wandler RX1, RX2 in ein erstes bzw. zweites elektrisches Signal  $es1, es2$  umgesetzt, das an die erste bzw.  
15 zweite Filtereinheit FU1, FU2 gesteuert wird.

- Mit Hilfe der ersten und zweiten Filtereinheit FU1, FU2 wird ein ausgewählter spektraler Anteil des ersten und des zweiten  
20 elektrischen Signals  $es1, es2$  heraus gefiltert und das gefilterte erste und zweite elektrische Signal  $es1_f, es2_f$  über die erste und zweite Regelleitung RL1, RL2 an die Regeleinheit CU übertragen.

- In der Regeleinheit CU wird mit Hilfe der Meß- und Bewertungseinheit MBU die Amplitude des gefilterten ersten und/oder des zweiten elektrischen Signals  $es1_f, es2_f$  bestimmt und die Amplitude/n anschließend bewertet. Ausgehend von dem  
Bewertungsergebnis wird mindestens ein Regelsignal rs zur Regelung des Polarisationsstellgliedes PTF abgeleitet, das über  
30 die Steuerleitung SL an den Regeleingang ri des Polarisationsstellgliedes PTF geführt wird. Zur Bildung des Regelsignals rs kann beispielsweise die Spannungsamplitude oder die Stromamplitude oder die Leistungsamplitude des gefilterten ersten und/oder des zweiten elektrischen Signals  $es1_f, es2_f$   
35 gemessen und ausgewertet werden. Hierbei wird durch das über das Regelsignals rs gesteuerte Polarisationsstellglied PTF

die Polarisation des optischen Multiplexsignales oms derart verändert, dass die durch die Meß- und Bewertungseinheit MBU der Regeleinheit CU ermittelte Amplitude des gefilterten ersten und/oder des zweiten elektrischen Signals  $es_{1F}, es_{2F}$  minimal wird. Dies bedeutet, dass die Empfangsanordnung EA bestehend aus dem Polarisationsstellgliedes PTF und dem Polarisationssplitter PBS zur Trennung des ersten seitenbandmodulierten Signals  $ms_1$  und des zweiten seitenbandmodulierten Signals  $ms_2$  optimal eingestellt ist.

10

Die Regelung des Polaristionsstellgliedes PTF kann hierbei auf verschiedene Arten erfolgen, beispielsweise durch Pilotenverfahren, Korrelationsverfahren sowie Interferenzverfahren. Besonders bevorzugt ist eine Regelung gemäß dem Frequenzversatzverfahren ( siehe hierzu die Lehre der deutschen Patentanmeldung 10147892.5). Bei einer derartigen Regelung weisen das erste und zweite Trägersignal  $ts_1, ts_2$ , des ersten und zweiten seitenbandmodulierten Signals  $ms_1, ms_2$  eine Differenzfrequenz  $\Delta f$  auf. Aufgrund der quadrierenden Eigenschaften des ersten und zweiten opto-elektrischen Wandlers RX1, RX2 wird bei der Differenzfrequenz  $\Delta f$  ein spektraler Anteil erzeugt. Bei optimaler Einstellung des Polarisationsstellgliedes PTF weisen diese spektralen Anteile des ersten und zweiten elektrischen Signals  $es_1, es_2$  ein Minimum auf bzw. sind nicht mehr meßbar. Somit werden durch die erste und zweite Filtereinheit FU1, FU2 dieser relevante Spektralanteil bei der Differenzfrequenz  $\Delta f$  des ersten und zweiten elektrischen Signals  $es_1, es_2$  ausgefiltert und durch die Meß- und Bewertungseinheit MBU die Amplitude des gefilterten ersten und/oder des zweiten elektrischen Signals  $es_{1F}, es_{2F}$  bestimmt. Die erste und zweite Filtereinheit FU1, FU2 sind hierzu beispielsweise als Bandpaßfilter mit einer der Differenzfrequenz  $\Delta f$  entsprechenden Mittenfrequenz  $f_M$  ( im betrachteten Ausführungsbeispiel beispielsweise  $f_M = 10 \text{ GHz}$  ) und einer Bandbreite von beispielsweise 1 GHz um die Differenzfrequenz  $\Delta f$  ausgestaltet. Typische Werte für die Differenzfrequenz  $\Delta f$  des

ersten und zweite Trägersignals  $ts_1, ts_2$  liegen im Bereich größer ein Gigaherz.

Durch die in Figur 1 dargestellte Anordnung wird somit eine exakte empfangsseitige Trennung der zueinander orthogonal polarisiert übertragenen ersten und zweiten Seitenbandmodulierten Signale  $ms_1, ms_2$  realisiert.

In den Figuren 2a bis 2d sind beispielhaft in mehreren Diagrammen die Leistungsspektren bzw. -verteilungen PSD der ersten und zweiten optischen Seitenbandmodulierten Signale  $ms_1, ms_2$  über der Frequenz  $f$  aufgetragen. Dies ist beispielhaft für die Übertragung von zwei optischen, im NRZ-Datenformat vorliegenden Datensignalen  $ds_1, ds_2$  unter Verwendung des Einseitenbandmodulationverfahrens mit einer Übertragungsrate von je 10 Gbit/s dargestellt. Das erste optische Seitenbandmodulierte Signal  $ms_1$  ist jeweils durch eine durchgezogene Linie und das zweite optische Seitenbandmodulierte Signal  $ms_2$  jeweils durch eine punktierte Linie angedeutet.

In Figur 2a ist beispielhaft die Leistungsverteilung PSD über der Frequenz  $f$  für ein erstes und zweites Seitenbandmoduliertes Signal  $ms_1, ms_2$  dargestellt, deren erstes bzw. zweites Trägersignal  $ts_1, ts_2$  dieselbe Frequenz  $f_T = f_1 = f_2$  aufweisen. Ferner sind zur Übertragung des ersten und zweiten Datensignals  $ds_1, ds_2$  zwei zueinander spiegelsymmetrische Einseitenbänder gewählt.

In Figur 2b weisen das erste und zweite Seitenbandmodulierte Signal  $ms_1, ms_2$  ebenfalls ein erstes bzw. zweites Trägersignal  $ts_1, ts_2$  mit derselben Frequenz  $f_T = f_1 = f_2$  auf, wobei die das erste und Datensignal  $ds_1, ds_1$  auf das identische Einseitenband moduliert sind.

Figur 2c zeigt die Leistungsverteilung PSD des ersten und zweiten optischen Seitenbandmodulierten Signals  $ms_1, ms_2$  über der Frequenz  $f$  für den Fall einer Verschiebung der Frequenzen

des ersten und zweiten Trägersignals  $ts_1, ts_2$  um ein Differenzfrequenz  $\Delta f$  und Figur 2d zeigt das resultierende Spektrum für den in Figur 2c dargestellten Anwendungsfall.

- 5 In Figur 3 ist die Amplitudenverlauf AV in logarithmischen Maßstab [dB] des ermittelten spektralen Anteils, beispielsweise der Leistungsamplitude des gefilterten ersten und/oder elektrischen Signals  $es_{1r}, es_{2r}$ , bei Vorliegen einer Differenzfrequenz  $\Delta f = 10$  GHz der beiden Trägersignale  $ts_1, ts_2$  in 10 Abhängigkeit des Polarisationswinkels  $pa$  in einem Diagramm dargestellt. An der Abszisse des Diagramms ist der Polarisationswinkel  $pa$  und an der Ordinate die Amplitude P angetragen. Der Amplitudenverlauf AV weist ein Maximum MAX bei einem Polarisationswinkel von  $pa = 45^\circ$  auf, d.h. bei einer Polarisationsverschiebung zwischen dem ersten und zweiten elektrischen Signal  $es_1, es_2$  von  $45^\circ$  weist die bei der Differenzfrequenz  $\Delta f$  aufgrund der quadrierenden Eigenschaft des ersten und/oder zweiten opto-elektrischen Wandlers RX1, RX2 hervorgerufene spektrale Anteil ein Maximum MAX auf. Dieses Maximum 15 MAX des spektralen Anteils bei der Differenzfrequenz  $\Delta f$  nimmt sowohl mit zunehmender als auch mit abnehmender Polarisationsverschiebung zwischen dem ersten und zweiten elektrischen Signal  $es_1, es_2$  ab und erreicht ein ersten Minimum  $MIN_1$  bei  $0^\circ$  sowie ein zweites Minimum  $MIN_2$  bei  $90^\circ$ . In dem ersten 20 und zweiten Minimum  $MIN_1, MIN_2$  sind das innerhalb des optischen Modulationssignals oms übertragene erste und zweite Seitenbandmodulierte Signal  $ms_1, ms_2$  ideal orthogonal polarisiert und können somit nahezu perfekt mit Hilfe des Polarisationsplitters PBS getrennt werden. Hierbei ist bei Auftreten 25 des ersten Minimums  $MIN_1$  bei einem Polarisationswinkel von  $pa = 0^\circ$  das modulierte Signal der einen Polarisation, beispielsweise das erste modulierte Signal  $ms_1$ , und bei Auftreten des zweiten Minimums  $MIN_2$  bei einem Polarisationswinkel von  $pa = 90^\circ$  das modulierte Signal der anderen Polarisation, beispielsweise das zweite modulierte Signal  $ms_2$ , perfekt erfaßt. Alle anderen Polarisationswinkel  $pa$  sind bei der Regelung un-

erwünscht und führen bei der Trennung des ersten und zweiten modulierten Signals ms1,ms2 zu Übersprechen.

Durch die mit Hilfe des in der Sendeausführung SA optional vorgesehenen Verzögerungselementen D durchgeführte Verzögerung beispielsweise des zweiten Seitenbandmodulierten Signals ms2 wird das in Figur 3 dargestellte Regelkriterium noch kontrastreicher, wodurch ein noch schärferes Regelsignal rs in der Regeleinheit CU gebildet werden kann. Hierzu können wahlweise das erste oder das zweite Seitenbandmodulierte Signal ms1,ms2 mit Hilfe eines oder weiterer Verzögerungselemente D verzögert werden.

Zusätzlich können sowohl das erste und/oder das zweite gefilterte elektrische Signal es1<sub>F</sub>,es2<sub>F</sub> zur Bildung zumindest eines Regelsignals rs ausgewertet werden.

Darüber hinaus ist eine zusätzliche Filterung des ersten und zweiten elektrischen Signals es1, es2 bei weiteren Frequenzen neben der Differenzfrequenz Δf mit Hilfe der ersten und zweiten Filtereinheit FU1, FU2 oder weiterer Filtereinheiten möglich, um hierdurch weitere Informationen über die Polarisierung des ersten und zweiten elektrischen Signals es1,es2 zu erhalten. Diese weiteren Informationen können anschließend zur Erhöhung des Kontrastes des mindestens einen Regelsignals rs weiterverarbeitet werden.

Zur empfangsseitigen Unterscheidung des mit Hilfe des Polarisationssplitters PBS getrennten ersten und zweiten elektrischen Signals es1,es2 können das erste und das zweite Daten-Signal ds1,ds2 mit unterschiedlichen Übertragungsbitraten übertragen werden oder alternativ kann sendeseitig dem ersten und/oder dem zweiten Trägersignal ts1,ts2 oder dem ersten und zweiten modulierten Signal ms1,ms2 mindestens ein Pilotton-Signal überlagert werden. Hierbei wird entweder durch die empfangsseitige Bestimmung der Übertragungsbitrate des jeweiligen elektrischen Signals es1,es2 oder durch die empfangs-

seitige Identifizierung des Pilottonsignals das erste und zweite elektrische Signal es1,es2 als solches identifiziert und kann anschließend signalspezifisch weiterverarbeitet werden.

5

Darüber hinaus ist eine empfangsseitige Unterscheidung des mit Hilfe des Polarisationssplitters PBS getrennten ersten und zweiten elektrischen Signals es1,es2 durch die Verwendung von unterschiedlichen Übertragungsbitraten für das erste und

10 zweite Datensignal ds1,ds2 möglich. Alternativ können auch das erste und zweite Datensignal ds1, ds2 zu empfangsseitigen Unterscheidungszwecken in unterschiedlichen Datenformaten, beispielsweise RZ und NRZ, übertragen werden.

15 Zur weiteren Steigerung der Bandbreiteneffizienz des optischen Übertragungssystems OTS können Wellenlängenmultiplextechnologien eingesetzt werden.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Übertragung von mindestens einem ersten und zweiten Datensignal (ds1,ds2) im Polarisationsmultiplex in einem optischen Übertragungssystem (OTS),
  - bei dem in einem ersten Schritt sendeseitig das erste Datensignal (ds1) auf ein Seitenband (SB1) eines ersten Trägersignals (ts) zur Erzeugung eines ersten Seitenbandmodulierten Signals (ms1) und das zweite Datensignal (ds2) auf ein Seitenband (SB2) eines zweiten Trägersignals (ts) zur Erzeugung eines zweiten Seitenbandmodulierten Signals (ms2) moduliert wird,
  - bei dem in einem zweiten Schritt das erste und zweite Seitenbandmodulierte Signal (ms1,ms2) zueinander orthogonal polarisiert sowie zu einem optischen Multiplexsignal (oms) zusammengefasst und übertragen werden,
  - bei dem in einem dritten Schritt empfangsseitig das optische Multiplexsignal (oms) über ein Polarisationsstellglied (PTF) an einen Polarisationssplitter (PBS) geführt wird, der das übertragene optische Multiplexsignal (oms) in das erste und zweite modulierte Signal (ms1,ms2) auftrennt,
  - bei dem in einem vierten Schritt das erste Seitenbandmodulierte Signal (ms1) in ein erstes elektrisches Signal (es1) und/oder das zweite Seitenbandmodulierte Signal (ms2) in ein zweites elektrisches Signal (es2) umgesetzt werden,
  - bei dem in einem fünften Schritt das erste und/oder das zweite elektrische Signal (es1,es2) bewertet wird und abhängig davon mindestens ein Regelsignal (rs) zur Regelung des Polarisationsstellgliedes (PTF) abgeleitet wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß die Seitenbandmodulation als Einseitenbandmodulation oder als Restseitenbandmodulation ausgestaltet ist.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,  
dadurch gekennzeichnet,

daß bei einem sich von dem ersten Trägersignal ( $ts_1$ ) um eine Differenzfrequenz ( $\Delta f$ ) unterscheidenden zweiten Trägersignal ( $ts_2$ ) zur Bewertung des ersten und/oder des zweiten elektrischen Signals ( $es_1, es_2$ ) der spektrale Anteil des ersten und/oder des zweiten elektrischen Signals ( $es_1, es_2$ ) bei der Differenzfrequenz ( $\Delta f$ ) ermittelt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

10 daß die Amplitude ( $P$ ) des ersten und/oder des zweiten elektrischen Signals ( $es_1, es_2$ ) bei der Differenzfrequenz ( $\Delta f$ ) auf ein Minimum ( $MIN_1, MIN_2$ ) geregelt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4,

15 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

daß als Differenzfrequenz ( $\Delta f$ ) ein Wert größer ein Gigahertz gewählt wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5,

20 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

daß das erste oder zweite Seitenbandmodulierte Signal ( $ms_1, ms_2$ ) sendeseitig zur Dekorrelation verzögert wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6,

25 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

daß zur Unterscheidung des ersten und zweiten elektrischen Signals ( $es_1, es_2$ ) sendeseitig dem ersten und/oder dem zweiten Trägersignal ( $ts_1, ts_2$ ) oder Seitenbandmodulierten Signal ( $ms_1, ms_2$ ) mindestens ein Pilottonsignal überlagert wird.

30

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

daß zur Unterscheidung des ersten und zweiten elektrischen Signals ( $es_1, es_2$ ) das erste und das zweite Datensignal

35 ( $ds_1, ds_2$ ) mit unterschiedlichen Übertragungsbitraten übertragen werden.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß zur Unterscheidung des ersten und zweiten elektrischen  
Signals (es1,es2) das erste und das zweite Datensignal  
5 (ds1,ds2) in unterschiedlichen Datenformaten übertragen wer-  
den.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9,  
dadurch gekennzeichnet,  
10 daß das optische Übertragungssystem (OTS) im Wellenlängenmul-  
tiplex (WDM) betrieben wird.

### Zusammenfassung

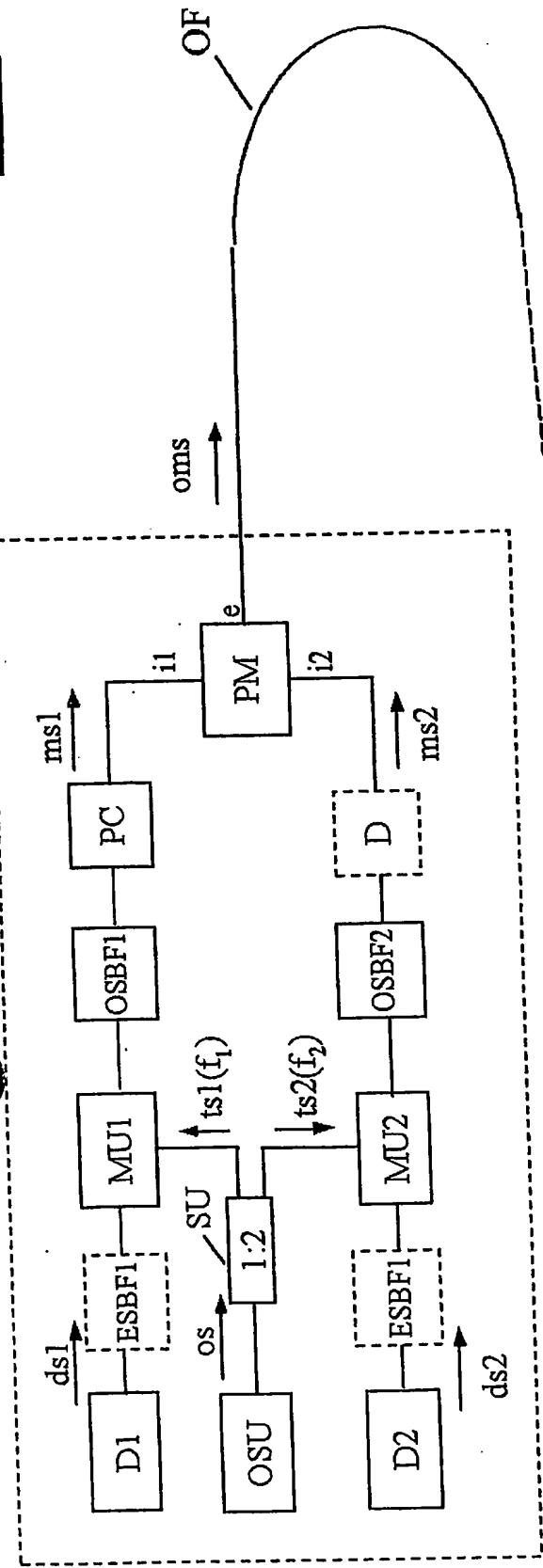
Verfahren zur Übertragung von mindestens einem ersten und zweiten Datensignal im Polarisationsmultiplex in einem optischen Übertragungssystem

Zur Übertragung von mindestens einem ersten und zweiten Datensignal ( $ds_1, ds_2$ ) im Polarisationsmultiplex wird in einem ersten Schritt sendeseitig das erste Datensignal ( $ds_1$ ) auf ein Seitenband (SB1) eines ersten Trägersignals (ts) zur Erzeugung eines ersten seitenbandmodulierten Signals ( $ms_1$ ) und das zweite Datensignal ( $ds_2$ ) auf ein Seitenband (SB2) eines zweiten Trägersignals (ts) zur Erzeugung eines zweiten seitenbandmodulierten Signals ( $ms_2$ ) moduliert. Anschließend wird in einem zweiten Schritt das erste und zweite seitenbandmodulierte Signal ( $ms_1, ms_2$ ) zueinander orthogonal polarisiert sowie zu einem optischen Multiplexsignal (oms) zusammengefasst und übertragen. Das optische Multiplexsignal (oms) wird in einem dritten Schritt empfangsseitig über ein Polarisationsstellschlüsselglied (PTF) an einen Polarisations splitter (PBS) geführt, der das übertragene optische Multiplexsignal (oms) in das erste und zweite seitenbandmodulierte Signal ( $ms_1, ms_2$ ) auftrennt. In einem vierten Schritt wird das erste seitenbandmodulierte Signal ( $ms_1$ ) in ein erstes elektrisches Signal ( $es_1$ ) und/oder das zweite seitenbandmodulierte Signal ( $ms_2$ ) in ein zweites elektrisches Signal ( $es_2$ ) umgesetzt und in einem fünften Schritt wird das erste und/oder das zweite elektrische Signal ( $es_1, es_2$ ) bewertet sowie abhängig davon mindestens ein Regelsignal ( $rs$ ) zur Regelung des Polarisationsstellschlüsselgliedes (PTF) abgeleitet.

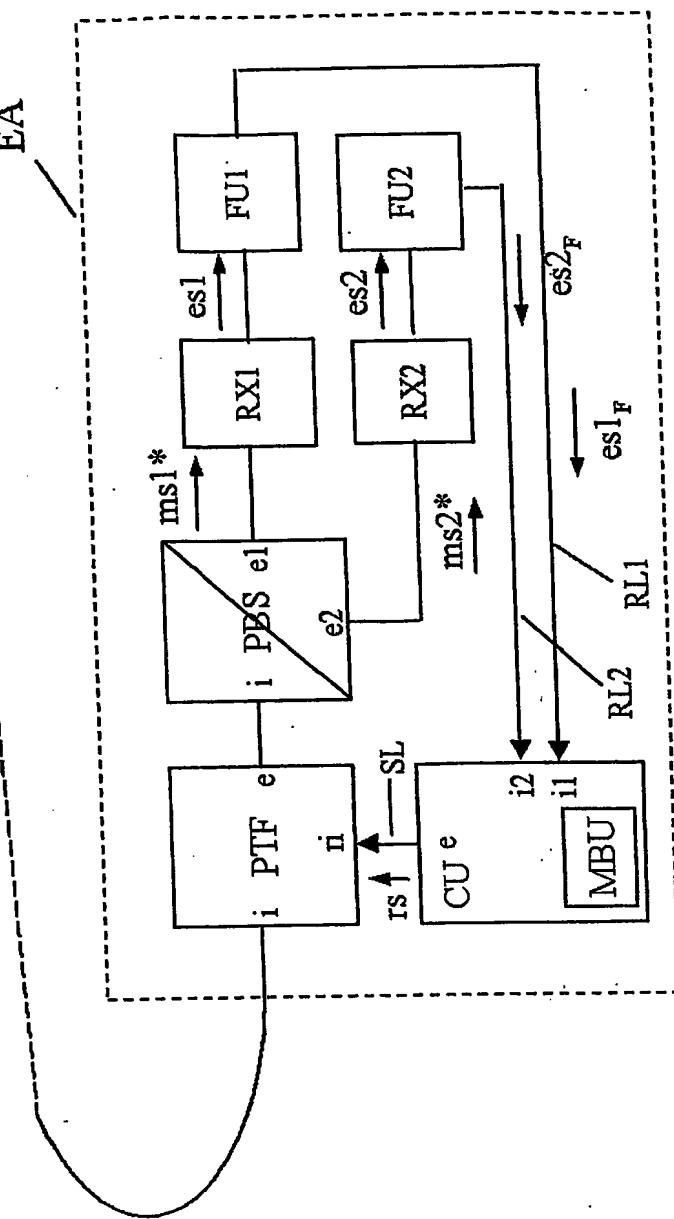
Figur 1

FIG. 1

SA

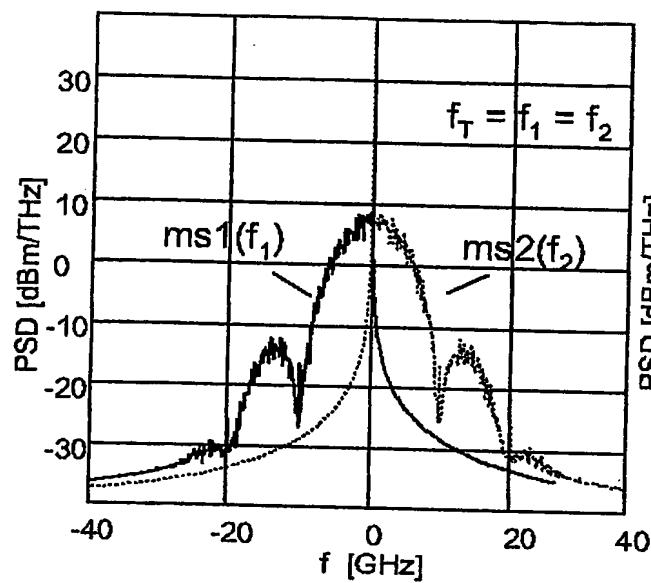


EA

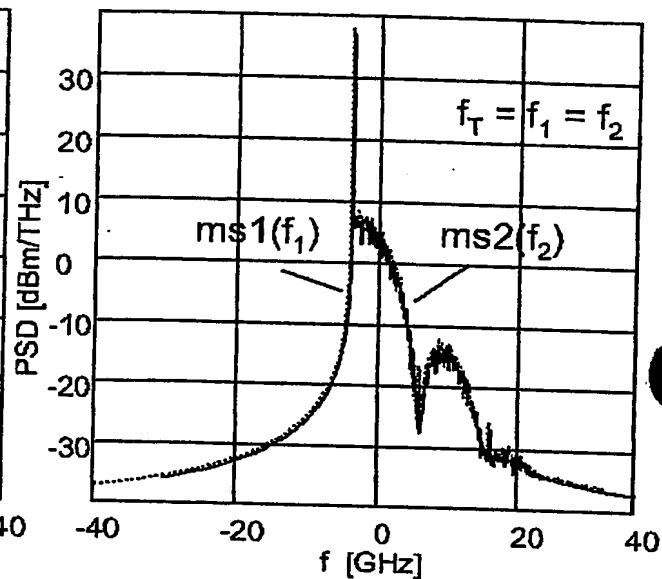


OTS

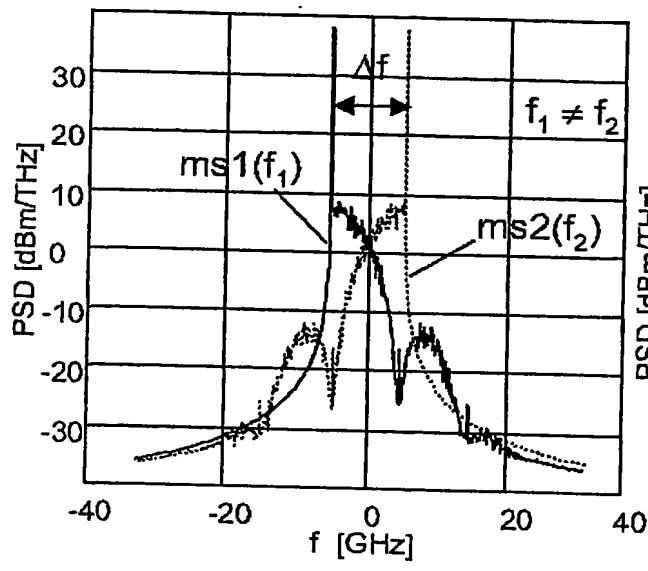
**FIG. 2a**



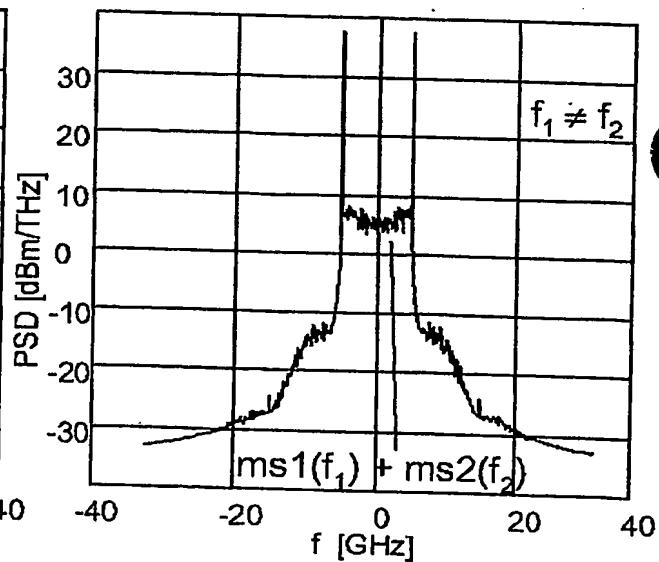
**FIG. 2b**



**FIG. 2c**



**FIG. 2d**



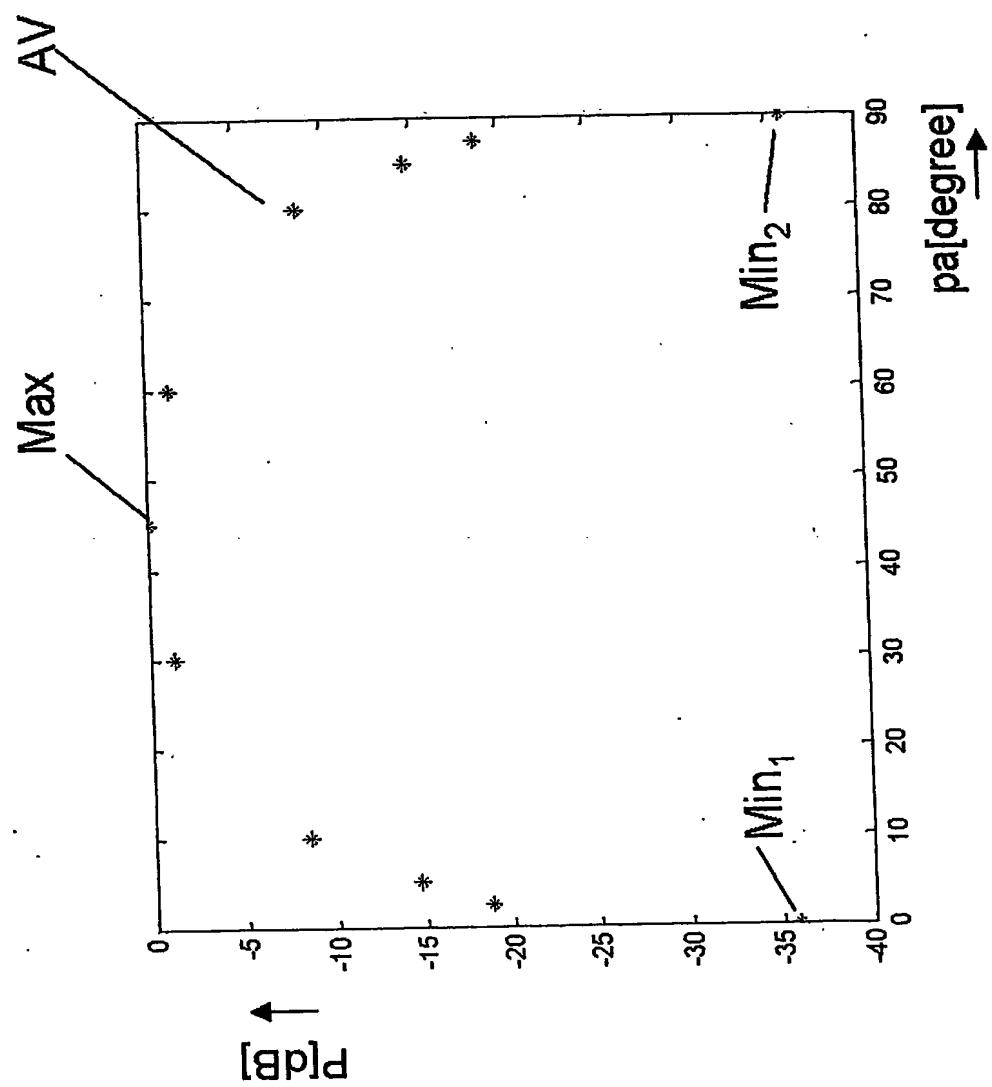


FIG. 3